

# SOCCER

## Verkehrslageerfassung und –prognose während der Fußball-WM

Michael Bonert, Elmar Brockfeld, Ines Ernst, Daniel Krajzewicz, Martin Ruhé  
und Peter Wagner

Institut für Verkehrsforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
Rutherfordstrasse 2, 12489 Berlin

### **Zusammenfassung:**

Während der FIFA—Fußballweltmeisterschaft 2006 wurde im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes SOCCER an drei Spielstätten (Berlin, Köln, Stuttgart) ein integriertes System getestet, das Verkehrsdaten aus unterschiedlichen Quellen zu einer Verkehrslageerfassung und anschließender Prognose fusionieren konnte. Die beiden Systeme in Berlin und Köln setzten dabei jeweils auf eine Simulation der gesamten Stadt auf, während das Stuttgarter System im Wesentlichen auf einer ganglinienbasierten Prognose basierte. Die verwendeten Inputdaten waren in allen Fällen eine Kombination aus (nicht in allen Städten gleich) luftgestützter Verkehrslageerfassung an ausgesuchten Brennpunkten (Zeppelin in Köln, Flugzeug in Berlin und Hubschrauber in Stuttgart), vorhandenen Zählschleifendaten (alle Orte) und den Reisezeitinformationen aus den Taxi—FCD Projekten Stuttgart und Berlin des DLR (siehe [www.cityrouter.com](http://www.cityrouter.com)). Dieser Beitrag beschreibt den Aufbau der Systeme und stellt erste Ergebnisse dar, mit denen die Prognosegüte beurteilt werden kann.

## **1 Einleitung**

Um das Verkehrsmanagement bei Großereignissen zu unterstützen [5], wird eine möglichst gute Erfassung der aktuellen und Prognose der zukünftigen Verkehrslage benötigt. Darüber hinaus ist vor allem für die Polizei eine Bestandsaufnahme der Bewegungen der Menschen von Interesse, wie sie sich mit Hilfe von Videobildern aus fliegenden Systemen (Hubschrauber, Flugzeug, Zeppelin im Falle dieses Projektes, andere sind vorstellbar) gewinnen lassen. Eine entsprechende Bildverarbeitungssoftware (TrafficFinder), zusammen mit einem Trägheitsnavigationssystem an Bord des fliegenden Systems das eine genaue Zuordnung des Bildes zu einer digitalen Karte ermöglicht [6,7], erlaubt es über die reine Anzeige der Videodaten hinaus, Verkehrsinformationen wie die Verkehrsdichte und die Durchschnittsgeschwindigkeit (momentane Geschwindigkeit) zu messen und im Rahmen der Verkehrslagedarstellung in die Verkehrslage zu integrieren. All diesen technischen Erfolgen zum Trotz, die mit einem erheblichen Integrationsaufwand der verschiedenen technischen System verknüpft waren, erwies sich die reibungslose Zusammenarbeit mit den Behörden vor Ort als der wesentliche Faktor für den Erfolg dieses Projektes.

## 2 Prognoseverfahren

Es gibt eine sehr große Anzahl von Verfahren, die zur Prognose heran gezogen werden können, eine detaillierte Darstellung würde den Rahmen dieses Artikels sprengen. Prinzipiell lassen sich diese Verfahren in zwei Gruppen klassifizieren:

- So genannte musterbasierte Verfahren (auch statistische Modelle, manchmal parameterfreie Modelle genannt),
- und modellgestützte Verfahren, bei denen ein detailliertes mathematisches Modell des vorherzusagenden Systems existiert (auch Filterverfahren, data assimilation).

Am Beispiel der Wettervorhersage kann das gut verdeutlicht werden: Bauernregeln sind ein Vertreter der ersten Gruppe, wo anhand der Idee „Ist St. Moritz hell und klar, stürmt der Winter, das ist wahr.“ [1] zu prognostizieren versucht wird um dann entsprechende Vorkehrungen treffen zu können. Natürlich gibt es nicht nur eine solche Regel, sondern stets einen ganzen Katalog davon, den man dann auf die jeweils vorliegende Situation anwenden kann, indem die jeweils passende Regel herausgesucht wird. Zu diesen musterbasierten Verfahren gehören auch neuronale Netze oder der Verfahren der Zeitreihenanalyse.

Dem gegenüber stehen die komplizierten Klima- und Wettermodelle der Meteorologen. Vereinfacht ausgedrückt, starten diese Modelle von einem aktuellen Zustand (der sich beispielsweise aus Messungen ableiten lässt, fast immer aber selbst wieder das Ergebnis einer Modellrechnung ist, die Zukunft vorherzusagen, in dem das Modell vom aktuellen Zustand einfach in die Zukunft weiterrechnet. Eigentlich überflüssig zu erwähnen, dass diese Messungen immer unvollständig, mit Fehlern behaftet, und oft auch interpretationsbedürftig sind. Im Falle der Wettervorhersage braucht es komplizierte gekoppelte fluiddynamische Modelle, die typischerweise auf sehr schnelle Computer mit viel Hauptspeicher angewiesen sind.

Hauptvorteil der musterbasierten Verfahren ist, dass sie immer funktionieren, auch wenn kein Modell des Systems vorhanden ist, und dass sie typischerweise mit geringem Aufwand zu implementieren sind. Das muss nicht bedeuten, dass diese Verfahren selbst auch einfach sind; in der Meteorologie gibt es Beispiele für Wettbewerbe, bei denen die verschiedenen Verfahren gegeneinander antreten mit dem Ziel, das jeweils beste heraus zu finden [1]. Dennoch ist der Hauptnachteil der musterbasierten Verfahren, dass sie nicht so ohne weiteres auf Unvorhergesehenes reagieren können, weil entsprechende Regeln nicht in ihrem Katalog vorhanden sind bzw. nicht gelernt wurden.

Im Falle von Verkehr ist das Vorgehen ganz ähnlich. Die musterbasierten Verfahren, die im SOCCER Stuttgart zum Einsatz kommen, basieren auf einer Datenbank von Tagesganglinien. Für jede Datenquelle existiert eine solche Datenbank von typischen Ganglinien, für die aktuelle Situation sucht das System aus diesen Datenbanken die jeweils am Besten passende aus und basiert ihre Prognose auf diesen historischen Ganglinien.

Die simulationsbasierten Verfahren hingegen sind am ehesten mit den klassischen Verkehrsplanungsverfahren zu beschreiben, besitzen aber eine dynamische Komponente, die in der Verkehrsplanung fehlt. Sie verwenden als Grundlage eine detaillierte Analyse der Alltagsverkehrsnachfrage, wie auch der durch die Veranstaltung zusätzlich generierten Verkehrsnachfrage. Es ist wichtig, dass diese Nachfrage von der Tageszeit abhängt, weil sonst die Unterschiede zwischen Simulation und tatsächlich beobachtetem Verkehrszustand zu groß werden. Aus dieser vorher bekannten Nachfrage berechnen die Verfahren in einer weiteren Vorabuntersuchung den wahrscheinlichsten zu erwarteten Verkehrszustand mittels einer dynamischen

stochastischen simulationsbasierten Verkehrsumlegung. Da es sich bei den hier verwendeten Verfahren um mikroskopische Simulationen handelt, liegt die Beschreibung des Verkehrszustand in Form einer Fahrtenliste vor, die beschreibt welches Fahrzeug wann von wo nach wo startet, und welcher Route durch das Netz es dabei folgt. Solche Dateien sind typischerweise mehrere Gigabyte groß. Dieser vorab berechnete Verkehrszustand bietet natürlich keine Gewähr dafür, dass die Simulationsergebnisse die Realität wiedergeben. Daher wird die Simulation zur Laufzeit mit Hilfe der aktuellen (on-line) Daten korrigiert, um die Abweichung zwischen Simulation und realem System möglichst klein zu halten.

Die von diesen Systemen generierten Informationen wurden jeweils der Polizei in Köln, der in Stuttgart, sowie dem Verkehrsfliegerservice von RTL in Berlin („Airservice Berlin“) in Form von Verkehrslagebildern zur Verfügung gestellt. Im Prinzip könnten diese Informationen auch via TMC mobilen Navigationsendgeräten zur Verfügung gestellt werden, wie das bereits beispielhaft in anderen Projekten TRANSIT und DYNASTY demonstriert werden konnte.

### 3 Aufbau der Systeme

Der prinzipielle Aufbau der drei Systeme ist in den drei Städten ähnlich, weshalb wir uns hier auf das Kölner System konzentrieren, für das die Untersuchung der Güte am weitesten fortgeschritten ist. Die Unterschiede liegen in den jeweils verwendeten Datenquellen, in der luftgestützten Plattform, und in den Prognoseverfahren. Die beiden simulationsbasierten Verfahren unterscheiden sich in den Details ihrer Umsetzung: während das Kölner System lediglich die Verteilung auf den Routen korrigiert, wurde in Berlin ein völlig neuer Ansatz verfolgt, der die Nachfrage nach Verkehr zu korrigieren versucht. Tabelle 1 beschreibt die wichtigsten Randbedingungen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Datenquellen und Prognoseverfahren in den drei Anwendungsfällen.

Stadt	Infrastrukturdaten	Nachfrage	Aktuelle Daten	Lufterfassung	Prognose
Stuttgart	Straßennetz, Position Detektoren	--	Zählschleifen, FCD Reisezeiten	Hubschrauber	Ganglinien
Köln	Straßennetz, Position Detektoren	Mikroskop. Nachfrage; VALIDATE für den Fernverkehr; Veranstaltungsverkehr	Zählschleifen	Zeppelin	simulationsbasiert
Berlin	Straßennetz, Position Detektoren	Mikroskop. Nachfrage	Zählschleifen, FCD Reisezeiten	Flugzeug	simulationsbasiert mit Korrektur der Nachfrage

Interessanterweise sind für keine der drei Städte die Schaltungen der Lichtsignalanlagen in den Simulationen verwendet worden. Allerdings wurden die Messungen der Reisezeiten (so sie vorlagen wie in Berlin und Stuttgart) in die Simulation mit eingepflegt, was zumindest eine grobe Berücksichtigung der LSA Schaltung bedeutet.

Die einzelnen technischen Systeme und ihr Zusammenspiel sind in Abbildung 1 dargestellt.

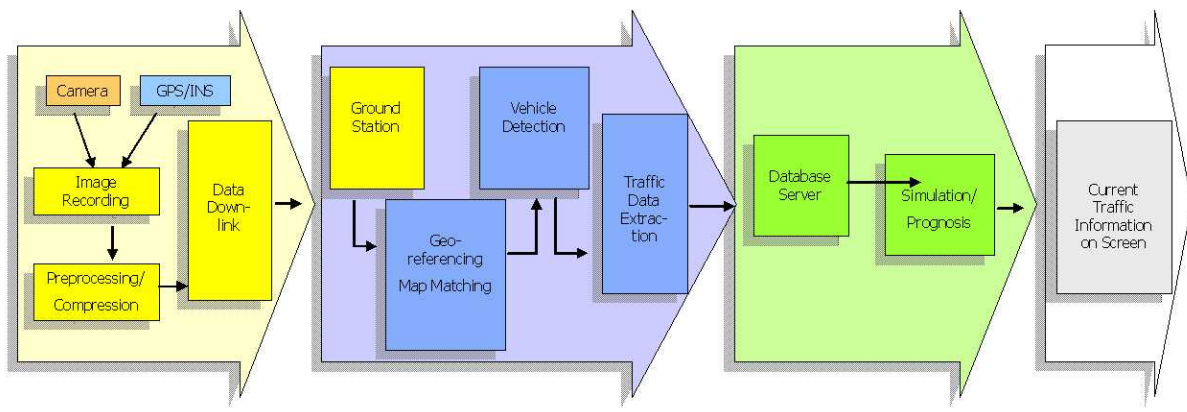


Abbildung 1: Prozesskette des SOCCER Systems von der luftgestützten Erfassung bis zur Simulation [4].

## 4 Detailbeschreibung der Simulation in SOCCER Köln

Grundlage einer jeden Verkehrssimulation ist eine digitale Karte, das im Rahmen dieses Projektes verwendete Simulationsstraßennetz ist in Abbildung 2 dargestellt.

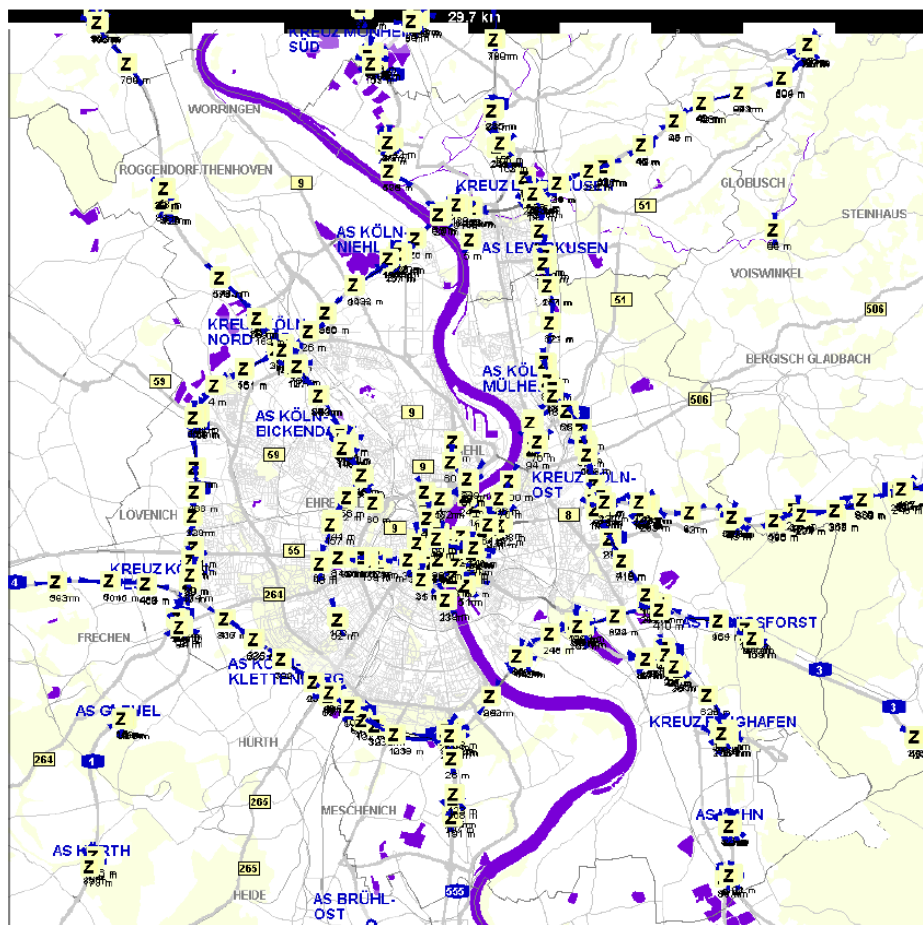


Abbildung 2. Straßennetz des Simulationsgebietes. Zusätzlich eingezeichnet sind die Positionen der Zählschleifen (mit „Z“ markiert).

Das verwendete Netz basiert auf der digitalen Karte von NavTeq und enthält 39389 Kanten und 16879 Knoten. Die Verkehrsnachfrage resultierte in rund 3.4 Millionen Reisen pro Tag, die die Simulation durchführen muss. Auf den Autobahnen lagen 774 Detektoren, während in der Stadt selbst die Daten von 77 Detektionsstellen für Verkehr vorlagen. Weitere Details zum Vorgehen finden sich in [4].

## **4.1 Abschätzung der Nachfrage nach Verkehr**

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, ist die Nachfrage nach Verkehr ein wichtiger Bestandteil des hier gewählten Ansatzes. Die Berechnung der Verkehrsnachfrage speiste sich aus vier wesentlichen Quellen:

- Ein mikroskopisches Programm TAPAS [11,12] zur Berechnung der Alltagsnachfrage in der Stadt Köln,
- Der von ptv zur Verfügung gestellte VALIDATE Datensatz, aus dem die Fernverkehrsnachfrage herausgezogen wurde, die TAPAS nicht zu berechnen vermag,
- Und schließlich die zusätzliche Nachfrage, wie sie durch die Fußballspiele selbst und vor allem durch die Besucher der öffentlichen „viewing places“ generiert wurde.
- Unterstützt wurden diese drei Quellen durch ein Verfahren, das nur auf den Zähl-schleifendaten direkt aufsetzt und zusätzliche Routen zwischen dem Autobahnnetz und dem Verkehrsnetz der Stadt Köln generiert.

Aus dieser Nachfrage wurde in einem nächsten Schritt mit Hilfe der im nächsten Abschnitt beschriebenen mikroskopischen Simulation zunächst eine erwartete Verkehrsverteilung berechnet. Dabei werden in einem iterativen Prozess die Routen der einzelnen Fahrzeuge so lange angepasst, bis sich ein dynamischer Gleichgewichtszustand einstellt. (Dynamische Routensuche und -umlegung.)

## **4.2 Verkehrssimulation**

Die mikroskopische Verkehrssimulation selbst basiert auf einer so genannten mesoskopischen Erweiterung [8-10] des open source Simulationsprogramms SUMO [13]. Statt einer detaillierten mikroskopischen Fahrzeugfolge- und Spurwechseldynamik werden hier die Fahrzeuge immer gleich ein großes Stück weiter geschoben. Dazu wird die Straße in Zellen der Länge 100 m eingeteilt, Fahrzeuge verbleiben eine gewisse Minimalzeit in jeder Zelle (Länge der Zelle dividiert durch die maximale Geschwindigkeit ist) und werden nach Ablauf dieser Zeit in die nächste Zelle entlang ihrer Route verschoben – allerdings nur dann, wenn die nächste Zelle genügend Platz aufweist und wenn genügend zeitlicher Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug vorhanden ist. Dieses Verfahren ist nicht geeignet, um eine einzelne Kreuzung detailliert abbilden zu können, eignet sich aber für die Simulation sehr großer Netzwerke.

Die Simulationen wurden auf einer Zwei-CPU Maschine mit jeweils 2 GHz Opterons durchgeführt. Dieser Rechner verfügte über einen Hauptspeicher von 4 GB, der zu keiner Zeit voll ausgelastet werden musste, im ungünstigsten Fall belegte die Simulation rund 2 GB Hauptspeicher. Zu den Zeiten mit der höchsten Belastung benötigte die Simulation knapp fünf Minuten um die Prognose für die nächste halbe Stunde zu berechnen. Das war gerade das Zeitintervall bis zu dem ein jeweils neuer Satz von online Daten eingetroffen war. In verkehrsschwächeren Zeiten ging das auch deutlich schneller in wenig mehr als einer Minute (die Simulationsgeschwindigkeit hängt linear von der Anzahl der simulierten Fahrzeuge ab).

### 4.3 Rekonstruktion und Prognose

Natürlich weicht der Verkehrszustand, wie er sich aus der dynamischen Routensuche und –umlegung ergibt, mehr oder weniger deutlich von dem tatsächlich gemessenen Verkehrszustand ab. Aus diesem Grund muss die Simulation an die gemessenen Daten angepasst werden. (In einzelnen Fällen konnte aus der Differenz zwischen Simulation und Daten allerdings auch auf nicht korrekt funktionierende Detektion geschlossen werden; diese Detektoren wurden dann aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.) Da die Zeit zwischen dem Eintreffen der online Daten und dem Erstellen der Prognose nicht sehr lang ist, muss derzeit auf ganz einfache Verfahren zurück gegriffen werden, um diese Fusion zwischen Sensordaten und Simulation durch zu führen. Dazu wird die Reisezeit in den Zellen auf den Wert Zellenlänge dividiert durch die gemessene Geschwindigkeit gesetzt, die Verkehrsstärken an den Detektoren werden durch Hereingabe bzw. Herausnehmen von Fahrzeugen einschließlich der mit den Fahrzeugen verknüpften Routen so angepasst, dass die Differenz zwischen gemessener und simulierter Verkehrsstärke möglichst gering wird. Da sich die Korrekturen aufeinander folgender Zählschleifen beeinflussen, kann keine perfekte Übereinstimmung erwartet werden.

## 5 Ergebnisse SOCCER Köln

Die Ergebnisse lassen sich in zwei Gruppen einordnen: zum einen die Ergebnisse der Rekonstruktion des aktuellen Zustandes, zum zweiten die Ergebnisse der Vorhersage.

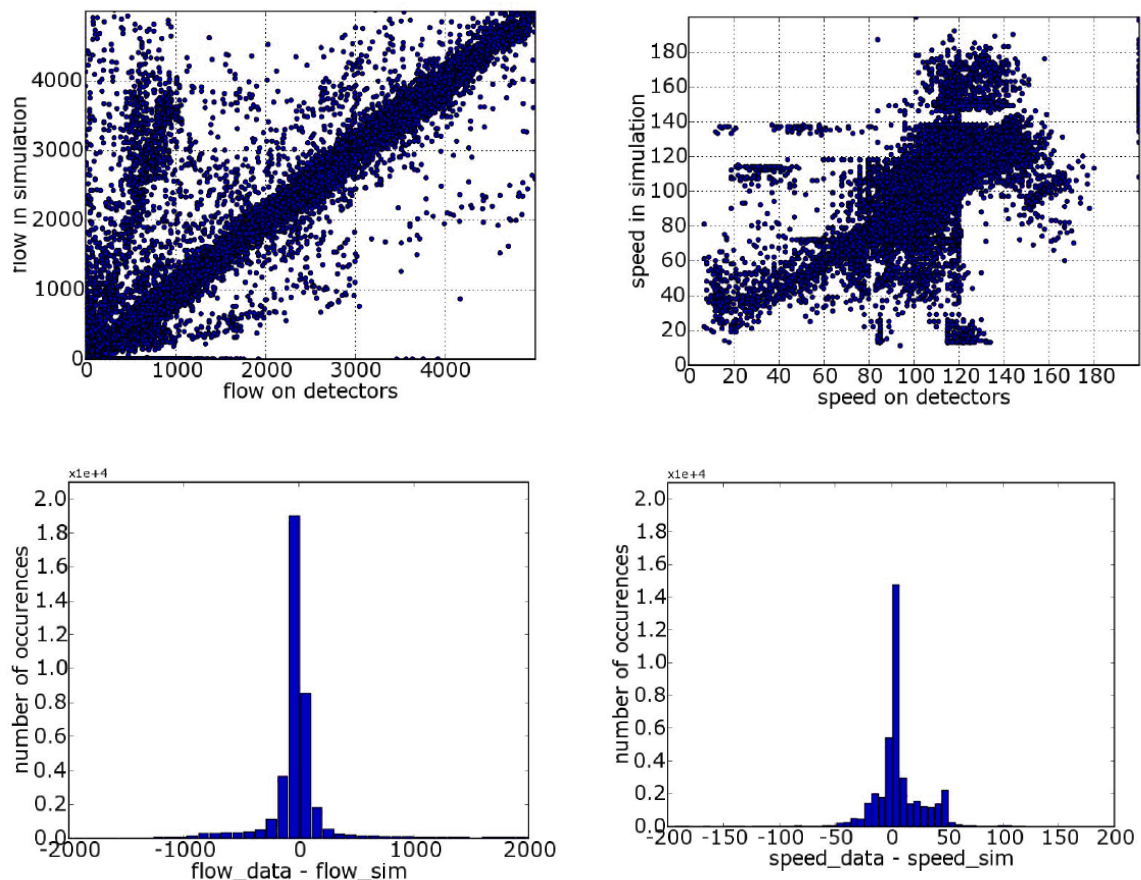


Abbildung 3: Ergebnisse der Rekonstruktion. Obere Zeile als Differenzplot für die Verkehrsstärken (links) und die Geschwindigkeiten (rechts), untere Zeile die entsprechenden Häufigkeitsverteilungen.



Die Ergebnisse der Rekonstruktion sind in Abbildung 3 dargestellt. Obwohl die Scatterplots einen recht groben Zusammenhang nahe legen, zeigen die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Differenz zwischen Simulation und Realität, dass die weitaus meisten Vergleiche zwischen Simulation und Daten nur einen geringen Fehler aufweisen. Gemittelt über alle Zähl Schleifen ergibt sich ein Gesamtfehler von 190 Fahrzeugen/h. Dieses Ergebnis ist sicherlich noch verbesserungsfähig, aber auch eine gute Basis auf der eine Weiterentwicklung aufbauen kann.

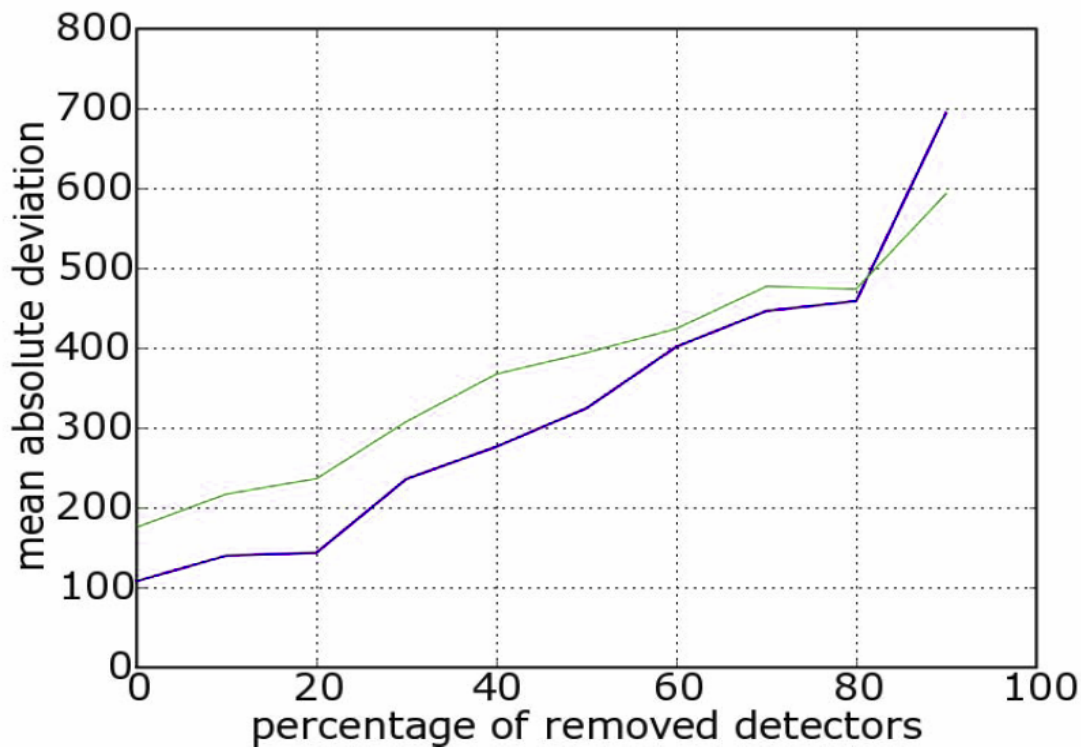


Abbildung 4: Verschlechterung der Güte der Rekonstruktion durch Herausnahme von Detektoren. Ganz wie erwartet wird das Ergebnis schlechter, aber nicht unbrauchbar.

In Abbildung 4 ist ein anderer Zusammenhang dargestellt. Werden aus dem Rekonstruktionsverfahren Zählstellen entfernt, muss das Ergebnis natürlich schlechter werden, und genau das ist in Abbildung 4 zu sehen. Dennoch liegt auch bei nur wenig verbleibenden Daten der Fehler bei rund 700 Fahrzeugen/h, was noch nicht völlig falsch ist. Das zeigt, dass die Grundlage der Simulation, die Verkehrsnachfrage, bereits einigermaßen die wahren Verhältnisse widerspiegelt.

Die letzte Abbildung 1Abbildung 5 schließlich zeigt den Vergleich zwischen der Prognose und der eine halbe Stunde später tatsächlich eingetretenen Verkehrsverhältnisse. Wie erwartet, liegt der Prognosefehler mit 330 Fahrzeugen/h deutlich höher als das Rekonstruktionsergebnis.

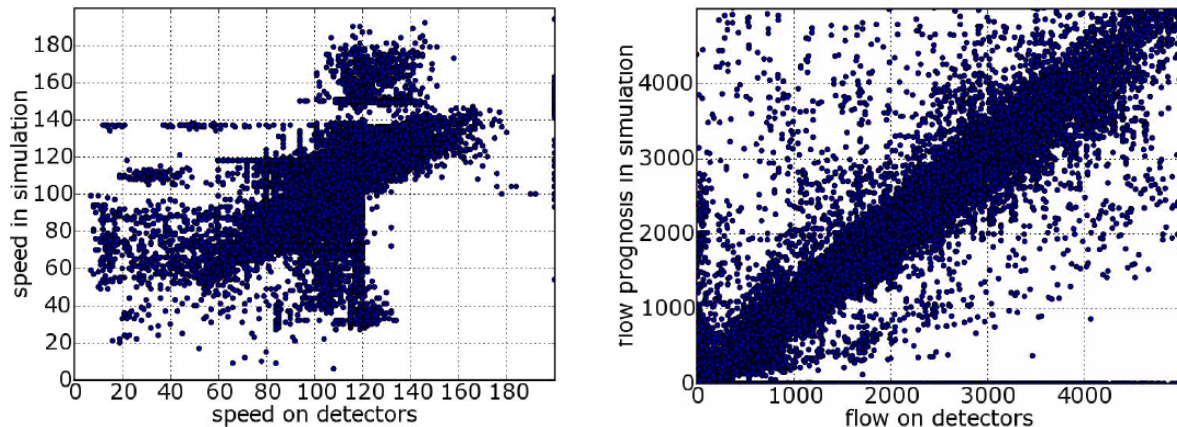


Abbildung 5: Vergleich des per Simulation erzielten Prognoseergebnisses mit den tatsächlich eingetretenen Verhältnissen.

## 6 Zusammenfassung

Dieser Beitrag ist als ein Machbarkeitsbeweis anzusehen. Es konnte demonstriert werden, dass es mit Hilfe eines simulationsbasierten Verfahrens möglich ist, eine dynamische Verkehrsprognose in Echtzeit auch von einem großen Gebiet zu erstellen. Die erzielten Resultate sind definitiv verbesserungswürdig und verbesserungsfähig. Ansatzpunkte liegen dabei in der Modellierung von Verkehrsnachfrage und Verkehrsfluss, besonders wichtig sind auch Verbesserungen in der Methodik der Datenassimilation (Datenfusion) zwischen Simulation und Realität nötig und auch vorstellbar. Ähnliche Projekte gibt es derzeit weltweit, bei allen diesen Anwendungen ist noch eine starke Forschungskomponente spürbar.

Die in diesem Projekt verwendete zusätzliche luftgestützte Erfassung ist vor allem im Bereich des Großereignismanagements von Interesse, da sie nicht nur Luftbilder der jeweiligen Veranstaltung zur Verfügung stellt, sondern auch noch für die Gewinnung zusätzlicher Verkehrsinformationen genutzt werden kann, die auf anderem Wege kaum zugänglich sind.

## Literatur

- [1] Das gewählte Zitat stammt von <http://www.bauernregeln.net/>, Zugriff am 22. Sept. 2006.
- [2] C.W.Landsea, J.A.Knaff, 2000, *How much skill was there in forecasting the very strong 1997-98 El Nino?* Bulletin of the American Meteorological Society, **81**, pp.2107-2119. Article is online unter <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/Landsea/skill/index.html>, Zugriff am 21. Sept. 2006.
- [3] E. Brockfeld, M. Bonert, P. Brunke, I. Ernst, D. Krajewicz, M. Ruhé and P. Wagner, *Traffic Monitoring at the XX. World Youth Day 2005 in Cologne* Technischer Bericht zum Weltjugendtag.
- [4] M. Bonert, E. Brockfeld, D. Krajewicz, and P. Wagner, *Large-scale traffic surveillance and forecast for the SOCCER World Cup using microscopic simulation*, eingereicht zur TRB 2007.



- [5] M. Bonert, *Verkehrsbewältigung bei Großereignissen – Ein Erfolgskriterium für Veranstaltungen*. (Traffic Management at major events) In: Schiefelbusch, Martin (Ed.) *Erfolgreiche Eventverkehre – Analysen und Fallstudien*, Studien zur Mobilitäts- und Verkehrsfor-schung, Bd. 7, Mannheim 2004
- [6] Börner, A.; Ernst, I.; Ruhé, M.; Sujew, S.; Hetscher, M. (2004): *Airborne camera experi-ments for traffic monitoring*. In: XXth ISPRS Congress, 12 - 23 July 2004, Istanbul (Turkey) 2004
- [7] I. Ernst; S. Sujew, K.-U. Thiessenhusen, M. Hetscher, S. Raßmann, M. Ruhé (2003): *LU-MOS - Airborne Traffic Monitoring System*. In: Proceedings of the IEEE 6th International Conference On Intelligent Transportation Systems; Shanghai (China), 2003
- [8] N. Eissfeldt: *Vehicle-based modelling of traffic*. Dissertation, Universität zu Köln, 2004.
- [9] Ch. Gawron, *An iterative algorithm to determine the dynamic user equilibrium in a traffic simulation model*. International Journal of Modern Physics C, 9(3):393-407, 1998.
- [10] Ch. Gawron, *Simulation-based traffic assignment*, PhD thesis, University of Cologne, Cologne (Germany) 1999.
- [11] G. Hertkorn & M. Kracht: *Analysis of a large scale time use survey with respect to travel demand and regional aspects*. International Association for Time Use Research (IA-TUR) — Conference 2002, Lisbon (Portugal) 2002
- [12] G. Hertkorn, *Mikroskopische Modellierung von zeitabhängiger Verkehrsnachfrage und von Verkehrsflussmustern*, Dissertation, Universität zu Köln 2004.
- [13] SUMO – an open source traffic simulation program. Download und weitere Informatio-nen unter <http://sumo.sourceforge.net>, Zugriff am 22.9.2006